

2881
#5 Priority
paper
12-13-00
R. H. H. H.

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the application of:

Kiwamu Takehisa *et al.*

Serial No. 09/608,964

Filed: June 30, 2000

For: ULTRA-NARROW BAND FLUORINE LASER APPARATUS



RECEIVED
DEC 11 2000
TC 2800 MAIL ROOM

CLAIM TO PRIORITY UNDER 35 U.S.C. § 119

Honorable Commissioner
of Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

December 5, 2000

Dear Sir:

The benefit of the filing date of the following foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 11-190490 filed July 5, 1999.

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicant has complied with the requirements of 35 U.S.C. § 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

In the event any fees are required, please charge our Deposit Account No. 22-0256.

Respectfully submitted,
VARNDELL & VARNDELL, PLLC
(formerly Varndell Legal Group)

R. Eugene Varndell, Jr.
Attorney for Applicant
Registration No. 29,728

Atty. Docket No. VX002160
Suite 220, 1150 South Washington Street
Alexandria, VA 22314
(703) 683-9730

\\V2\docs\W_Docs\Dec00\PO152-2160 CTP.doc

KOM US 009

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 7月 5日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第190490号

出 願 人

Applicant (s):

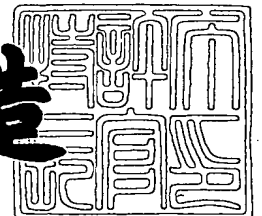
株式会社小松製作所

RECEIVED
DEC 11 2000
TC 2800 MAIL ROOM

2000年11月10日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3093224

【書類名】 特許願

【整理番号】 H599-017

【提出日】 平成11年 7月 5日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/10

【発明の名称】 超狭帯域化フッ素レーザー装置

【請求項の数】 7

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社 小松製作所
研究所内

【氏名】 武久 究

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社 小松製作所
研究所内

【氏名】 溝口 計

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社 小松製作所
研究所内

【氏名】 永井 伸治

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県大和市上和田 2 4 1 2 番地 4 - 7 - 3 0 2

【氏名】 後藤 達美

【特許出願人】

【識別番号】 000001236

【氏名又は名称】 株式会社 小松製作所

【代表者】 安崎 暁

【代理人】

【識別番号】 100071054

【弁理士】

【氏名又は名称】 木村 高久

【電話番号】 03-3552-0221

【代理人】

【識別番号】 100106068

【弁理士】

【氏名又は名称】 小幡 義之

【電話番号】 03-3552-0221

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006460

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 超狭帯域化フッ素レーザー装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フッ素を含むレーザーガスが充填され、陰極と陽極との電極間に所定の放電電圧が印加されることによりフッ素レーザーのレーザー光を発振するレーザーチャンバを備え、この発振されたレーザー光を露光装置の露光光源として供給する超狭帯域化フッ素レーザー装置であって、

前記レーザーガスの圧力は、前記レーザーチャンバから発振されるレーザー光の波長幅が所望の値まで狭帯域化されるべく、所定の圧力以下に設定されている

ことを特徴とする超狭帯域化フッ素レーザー装置。

【請求項 2】

前記波長幅は 0.2 μm から 0.3 μm までの範囲以内の所望の値に狭帯域化されることを特徴とする請求項 1 記載の超狭帯域化フッ素レーザー装置。

【請求項 3】

前記レーザーガスの圧力は、1 気圧以下に設定されていることを特徴とする請求項 1 記載の超狭帯域化フッ素レーザー装置。

【請求項 4】

前記レーザーガスの圧力を前記所定の圧力以下に設定した際に、前記陰極と前記陽極との電極間において絶縁破壊が発生することなく、且つグロー放電が維持されるべく、当該 2 つの電極の間隔が所定の長さに設定されていることを特徴とする請求項 1 記載の超狭帯域化フッ素レーザー装置。

【請求項 5】

前記グロー放電を発生させる放電形式は、前記レーザーチャンバ内で発振されるレーザー光の光軸の方向と同一方向に放電させるようにした縦放電であることを特徴とする請求項 4 記載の超狭帯域化フッ素レーザー装置。

【請求項 6】

前記レーザーチャンバを含む発振器と、この発振器から発振されたレーザー光の出力を増幅して前記露光装置の露光光源として供給する増幅器とを、更に備えるこ

とを特徴とする請求項 1 記載の超狭帯域化フッ素レーザ装置。

【請求項 7】

前記レーザチャンバ内の陰極と陽極との電極間で発生されるグロー放電の放電形式は、前記レーザチャンバ内で発振されるレーザ光の光軸の方向に対し垂直方向に放電させるようにした横放電とし、

この横放電により前記陰極と前記陽極との電極間において絶縁破壊が発生することなく、且つグロー放電が維持されるべく、当該 2 つの電極間に印加される放電電圧が、所望の電圧まで低下されていることを特徴とする請求項 6 記載の超狭帯域化フッ素レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フッ素レーザのレーザ光を露光装置の露光光源として供給する超狭帯域化フッ素レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

リソグラフィ用の露光機に要求される性能としては、解像度、アライメント精度、処理能力、装置信頼性など種々のものが存在する。その中でも、パターンの微細化に直接つながる解像度 R は、 $R = k \cdot \lambda / NA$ (k : 定数、 λ : 露光波長、 NA : 投影レンズの開口数) によって表される。従って良好な解像度を得るためには、露光波長 λ が短い程有利になる。

【0003】

そこで、従来の露光機においては、水銀ランプの i 線 (波長: 365 nm) や、波長が 248 nm のクリプトンフッ素 (KrF) エキシマレーザが露光機光源として利用されている。これらはそれぞれ i 線露光機及び KrF 露光機と呼ばれている。

【0004】

また微細な加工を行うための次世代露光機として、波長が 193 nm のアルゴンフッ素 (ArF) エキシマレーザを露光光源に用いた露光機が用いられ始めて

おり、これはA r F露光機と呼ばれる。A r F露光機では、波長幅が約0.6 p mまで狭帯域化されたA r Fエキシマレーザが用いられており、また縮小投影光学系には、二種類の材質から成る色消しレンズが用いられている。

【0005】

更に、上述したA r F露光機の次世代のリソグラフィ用露光機としては、光源に波長が約157 nmのフッ素レーザを用いたフッ素露光機が検討されている。

【0006】

このフッ素レーザでは、波長と光強度が異なる2本の発振線（発振ラインとも呼ばれる）があり、波長はそれぞれ157.5233 nmと157.6299 nmであり、それぞれの発振線の波長幅は1 p m程度であると言われている。

【0007】

そのフッ素レーザを露光に利用するには、一般に強度の大きい波長（157.6299 nm）のラインのみ1本を選択して用いる（以下、1ライン化という）のが有利とされており、従来においては、その1ライン化には、プリズムが1～2個用いられていた。

【0008】

ただし、そのラインの波長幅は約1 p mであるため、露光機における縮小投影光学系として、レンズのみによる全屈折型光学系よりも10倍広い波長幅で利用できるとされている反射屈折型縮小投影光学系（以下、カタディオプトリク型という）を適用する必要があると考えられている。

【0009】

なお、フッ素レーザの動作特性等に関しては、例えば、「レーザー研究、第19巻、第11号、第2頁から第24頁」（文献1）に記載されている。

【0010】

また、1ライン化に関しては、例えば、「S P I E、24 t h I n t e r n a t i o n a l S y m p o s i u m o n M i c r o l i o t h o g r a p h y, F e b. 1999.」（文献2）において実験結果が報告されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上述したカタディオプトリク型では、それまでの露光機（すなわち A r F 露光機）で一般に用いられてきたレンズのみによる屈折型の縮小投影光学系と異なるため、新たな設計を必要とする等、全屈折型の縮小投影光学系に比べて、課題が多い。

【0012】

このカタディオプトリク型と比較して有利とされる全屈折型の縮小投影光学系において利用することができるとされる 0.2 ~ 0.3 μ m 程度まで、発振線の波長幅を狭帯域化することは、従来においては、下記の理由から困難であった。

【0013】

すなわち、一般にプリズムを用いる場合よりも狭帯域化が可能なエタロン等においては、部分反射膜を施す必要があるが、この部分反射膜では、耐光強度が得られないことがあった。

【0014】

つまりフッ素レーザのように波長が短い（すなわち光子エネルギーの高い）レーザでは、多くの光学材におけるレーザ光の吸収が大きくなるため、エタロン等に施される部分反射膜は、特に不純物が少しでも存在すると、エタロンを形成している光学材によるレーザ光の吸収により温度が上昇し、融点を超えてダメージに至ることがある。

【0015】

またエタロンでは高い面精度の基板が必要になるが、フッ素レーザの波長 $\lambda = 157$ nm で利用できる、例えばフッ化カルシウムを母材とする基板（光学材）においては、エタロンで通常必要となる $\lambda / 100$ の面精度を得ることが困難であるという問題点もあった。

【0016】

そこで、本発明の課題は、フッ素レーザにおけるライン幅を、エタロン等の狭帯域化素子を用いること無く、0.2 ~ 0.3 μ m 程度まで狭帯域化することの

できる超狭帯域化フッ素レーザ装置を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段、作用および効果】

上記課題を達成するため、本発明の第1発明では、

フッ素を含むレーザガスが充填され、陰極と陽極との電極間に所定の放電電圧が印加されることによりフッ素レーザのレーザ光を発振するレーザチャンバを備え、この発振されたレーザ光を露光装置の露光光源として供給する超狭帯域化フッ素レーザ装置であって、

前記レーザガスの圧力は、前記レーザチャンバから発振されるレーザ光の波長幅が所望の値まで狭帯域化されるべく、所定の圧力以下に設定されている

ことを特徴とする。

【0018】

また、第2発明では、第1発明において、

前記波長幅は0.2 μm から0.3 μm までの範囲以内の所望の値に狭帯域化されることを特徴とする。

【0019】

また、第3発明では、第1発明において、

前記レーザガスの圧力は、1気圧以下に設定されていることを特徴とする。

【0020】

また、第4発明では、第1発明において、

前記レーザガスの圧力を前記所定の圧力以下に設定した際に、前記陰極と前記陽極との電極間において絶縁破壊が発生することなく、且つグロー放電が維持されるべく、当該2つの電極の間隔が所定の長さに設定されていることを特徴とする。

【0021】

また、第5発明では、第4発明において、

前記グロー放電を発生させる放電形式は、前記レーザチャンバ内で発振されるレーザ光の光軸の方向と同一方向に放電させるようにした縦放電であることを特徴とする。

【0022】

また、第6発明では、第1発明において、

前記レーザチャンバを含む発振器と、この発振器から発振されたレーザ光の出力を増幅して前記露光装置の露光光源として供給する増幅器とを、更に備えることを特徴とする。

【0023】

さらに、第7発明では、第6発明において、

前記レーザチャンバ内の陰極と陽極との電極間で発生されるグロー放電の放電形式は、前記レーザチャンバ内で発振されるレーザ光の光軸の方向に対し垂直方向に放電させるようにした横放電とし、

この横放電により前記陰極と前記陽極との電極間において絶縁破壊が発生することなく、且つグロー放電が維持されるべく、当該2つの電極間に印加される放電電圧が、所望の電圧まで低下されていることを特徴とする。

【0024】

上記第1発明乃至第3発明、第6発明及び第7発明について、図1乃至図3を参照して説明する。

【0025】

図1に示すように、超狭帯域化フッ素レーザ装置100では、出力鏡13と全反射鏡14とで構成された安定型の共振器の間に、レーザチャンバ15が配置されており、このレーザチャンバ15内では、フッ素を含むレーザガスが約0.8気圧に満たされている。その結果、レーザチャンバ15によって、電極間で放電（グロー放電）させてレーザ発振すると、波長幅が約0.3 pm（図2参照）のレーザ光L10が取り出される。

【0026】

このレーザ光L10のレーザ出力は1 mJ以下と小さく、このままでは、露光に利用することができない。

【0027】

そこで、増幅器12によって、発振器11からのレーザ光L10のパワーを増加させている。すなわち、レーザ光L10は、穴付き凹面鏡17から内部に入り

、レーザチャンバ 18 内を進む際に増幅され、凸面鏡 16 の周囲からレーザ光 L20 が取り出される。

【0028】

なお、発振器 11 においては横励起方式で放電させるようにしている。すなわち、レーザチャンバ 15 内におけるレーザ光の光軸を横切るように放電（光軸の方向に対し垂直方向に放電）させる方式である。この横励起方式においては、陰極と陽極との電極間隔は短いため（例えば 10～20 mm）、ガス圧を下げた場合に、電極間でアーク放電が発生しないように、放電電圧を低くしなければならず、その結果、レーザ出力が低下してしまう。例えばガス圧を 4 気圧から 1 気圧に減圧した場合には、例えば約 20 KV の放電電圧を約 10 KV に低下させなければならない。

【0029】

ここで、レーザ出力の放電電圧依存性を示すグラフを図 3 に示す。レーザチャンバ 15 においては、図 3 中符号 31 で示される斜線部分の範囲内でレーザ動作する。また、図 3 を参照して分かるように、ガス圧を 4 気圧から 1 気圧に減圧した場合には、アーク放電が発生しない程度に、レーザチャンバにおける放電電圧を低下させなければならず、これに伴ってレーザ出力も低下してしまう。

【0030】

このようにしてレーザ出力が低下したレーザ光 L10 を増幅器 12 によって増幅することにより得られるレーザ光 L20 では、スペクトルがレーザ光 L10 と同等であることから、波長幅が約 0.3 pm のままになっているが、レーザ出力は 10 mJ 以上に増幅されている。すなわちレーザ光 L20 は露光で利用するのに十分なパワーになっている。

【0031】

以上説明したように、上記第 1 発明及び第 2 発明によれば、エタロン等の狭帯域化素子を用いることなく、フッ素レーザにおける発振線の波長幅を 0.3 pm 以下まで狭帯域化されたレーザ光を発生することができる。

【0032】

また、レーザガスの圧力を低下させた状態（例えば 1 気圧の状態）で、フッ素

レーザのレーザ光を狭帯域化するようにしているので、狭帯域化された発振線は、元のスペクトル分布のほぼ中心になる。すなわち、狭帯域化素子の温度上昇に伴う、狭帯域化された発振線の中心波長の変動は発生しないため、波長を安定化させるための安定化手段を講ずる必要がないこととなり、よってレーザ装置の簡素化を図ることができる。

【0033】

また、第3発明によれば、レーザガスの圧力を1気圧以下にするようにしているので、レーザチャンバからのフッ素ガス（これは人体に有害なガス）の漏れを防止することができる。

更に、第6発明及び第7発明によれば、1台目の発振器によって、波長幅が約0.3 pmに狭帯域化され、レーザ出力が小さいレーザ光が出力された場合でも、そのレーザ出力を2台目の増幅器によって増幅することができる。

【0034】

上記第4発明及び第5発明について、図4を参照して説明する。

【0035】

図4に示すように、超狭帯域化フッ素レーザ装置200では、出力鏡21と全反射鏡22とで構成された共振器中にレーザチャンバ23が配置された安定型共振器になっており、このレーザチャンバ23内では、電極の対である陰極24と陽極25とが、レーザ光L30と平行な方向、すなわちレーザ光30の光軸方向に並んでいる縦励起方式になっている。符号201で示される斜線部分が放電領域になっている。そして、レーザガスは斜線部分を図4の紙面に垂直な方向に流れるようになっており、そのためファン26が備えられている。

【0036】

このように超狭帯域化フッ素レーザ装置200では、縦励起方式となっているため、陰極24と陽極25との電極間隔が、通常の横励起方式に比べて、桁違いに長くなっている。例えば通常の横励起方式では、電極間隔は10～20 mmであるのに対し、縦励起方式においては、電極間隔を1000 mm程度まで延長させることができ、電極間隔を従来と比較して50～100倍長くすることができる。

【0037】

従って、レーザチャンバ23内に満たされるレーザガスの圧力が非常に低い場合でも、アーク放電が発生し難く、グロー放電を維持することができる。

【0038】

以上説明したように、第4発明及び第5発明によれば、発振するレーザ光の光軸方向と同一方向に放電させる縦放電を用いるようにしているので、陰極と陽極との電極間隔つまり放電長を長く設定することができることとなり、レーザガスの圧力が低くなっても、アーク放電が生じ難く、グロー放電を維持することができる。

【0039】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る実施の形態について添付図面を参照して説明する。

【0040】

図1は、本実施形態に係る超狭帯域化フッ素レーザ装置100の構成を示す構成図であり、図2は、波長幅のガス圧依存特性を示すグラフである。

【0041】

この超狭帯域化フッ素レーザ装置100においては、フッ素レーザにおけるレーザガスのトータル圧力（以下、ガス圧という）を1気圧以下にしてレーザ動作させ、しかも波長幅が約0.3 μm まで狭帯域化されたレーザ光を発生させるようにしたものである。

【0042】

ここで、超狭帯域化フッ素レーザ装置100の説明に先立って、1気圧以下のガス圧において、波長幅を0.3 μm まで狭帯域化することができる理由について説明する。

【0043】

一般に、フッ素レーザのスペクトル形状はガウス型と考えられており、この波長幅 $\Delta\lambda$ は数式1で表される。

【0044】

【数1】

$$\Delta\lambda = \frac{\sqrt{\ln 2 / \pi} \lambda^2}{4\pi\tau_{sp} c \sigma}$$

ただし、 \ln は自然対数、 λ は波長、 σ は誘導放出断面積、 τ_{sp} は自然放出寿命、 c は光速、とする。

【0045】

このフッ素レーザーでは、通常4～12気圧という高圧で動作するため、励起されたフッ素分子は、衝突による失活を伴い、実質的な上準位寿命 τ は、自然放出寿命 τ_{sp} より短くなり、衝突による寿命を τ_c とすると、上記数式1は数式2で近似的に表すことができる。

【0046】

【数2】

$$\tau^{-1} \sim \tau_{sp}^{-1} + \tau_c^{-1}$$

また、ガス圧 P を考慮した波長幅 $\Delta\lambda(P)$ は、数式3に示すように、実質的な上準位寿命 τ に反比例する。

【0047】

【数3】

$$\Delta\lambda(P) \propto \tau^{-1}$$

さらに、衝突による寿命 τ_c の逆数（すなわち衝突による失活の速度）が圧力に比例すると考えられていることから、圧力 P_0 のときの波長幅を $\Delta\lambda_0$ とすると、上記波長幅 $\Delta\lambda(P)$ は、数式4のように表すことができる。

【0048】

【数4】

$$\Delta\lambda(P) = \Delta\lambda_0 \frac{\tau_{sp}^{-1} + \tau_c^{-1} P/P_0}{\tau^{-1}}$$

ここで、上述した文献 1 の記載内容から、 $\tau_{sp}=3.7 \text{ ns}$ 、 $\tau=1 \text{ ns}$ と仮定し、これらの値を上記数式 4 に代入し、更に、 P/P_0 の値が 0.25 以下（つまり従来のガス圧 P として 4～10 の場合、ガス圧 P_0 は 0.4～1.0 気圧になる）になる P 及び P_0 それぞれの値を上記数式 4 に代入して、数式 4 を演算すると、ガス圧 P を考慮した波長幅 $\Delta\lambda(P)$ は、 $\Delta\lambda_0$ の約 0.3 以下まで小さくなる。

【0049】

すなわち、従来においてガス圧が 4 気圧のとき、フッ素レーザにおける発振線の波長幅 ($\Delta\lambda_0$) は 1 pm 程度であるので、ガス圧を 1 気圧以下にすることで、波長幅を約 0.3 pm まで狭帯域化させることができる。

【0050】

なお、上述した条件の下で、 P/P_0 において、 $P_0=4$ 気圧で一定とし、 P を 0～4 までの所望の気圧値、例えば 0、1、2、3、4 の各値を代入して、数式 4 を演算して得られる波長幅 $\Delta\lambda(P)$ とガス圧 P との関係、すなわち波長幅 $\Delta\lambda(P)$ のガス圧依存特性を、図 2 に示す。

【0051】

なお、レーザチャンバ内におけるレーザ光の光軸を横切るように放電（光軸の方向に対し垂直方向に放電）させる方式、すなわち横励起方式においては、陰極と陽極との電極間隔は短いため（例えば 10～20 mm）、ガス圧を下げた場合に、これらの電極間でアーク放電が発生しないように、放電電圧を低くしなければならず、その結果、レーザ出力が低下してしまう。例えばガス圧を 4 気圧から 1 気圧に減圧した場合には、例えば約 20 KV の放電電圧を約 10 KV に低下させなければならない。

【0052】

ここで、レーザ出力の放電電圧依存性を示すグラフを図 3 に示す。後述するレーザチャンバ 15 においては、図 3 に示すように、一般に、ガス圧が一定の場合、放電電圧を上げる程、レーザ出力が高くなるが、ガス圧を低くすると、放電電圧の上限が下がってくるので、その圧力でのレーザ光の最大出力が低くなる。すなわち、レーザチャンバ 15 においては、図 3 中符号 31 で示される斜線部分の

範囲内でレーザ動作する。

【0053】

この図3を参照して分かるように、ガス圧を4気圧から1気圧に減圧した場合には、アーク放電が発生しない程度に、レーザチャンバ15における放電電圧を低下させなければならず、これに伴ってレーザ出力も低下してしまう。

【0054】

そこで、この実施形態においては、超狭帯域化フッ素レーザ装置100を2台のフッ素レーザ装置で構成し、1台目のレーザ装置におけるガス圧を1気圧以下にしてレーザ動作させ、且つ2台目のレーザ装置によって、波長幅が約0.3 pmに狭帯域化され、レーザ出力が低下したレーザ光の出力を増幅するようにしている。

【0055】

さて、再度図1を参照して説明する。超狭帯域化フッ素レーザ装置100は、発振器11と増幅器12とで発振増幅器が構成されている。

【0056】

発振器11では、出力鏡13と全反射鏡14とで構成された安定型の共振器の間に、レーザチャンバ15が配置されている。

【0057】

レーザチャンバ15内では、フッ素を含むレーザガスが約0.8気圧に満たされている。その結果、レーザチャンバ15によって、電極間で放電（グロー放電）させてレーザ発振すると、波長が157.6299 nmで、波長幅が約0.3 pm（図2参照）のレーザ光L10が取り出される。

【0058】

ところがレーザ光L10のレーザ出力は1 mJ以下と小さく、このままでは、露光に利用することができない。なぜなら、レーザ出力はガス圧に比例して低下するからである。

【0059】

そこで、本実施形態では、増幅器12によって、レーザ光L10のパワーを増加させている。増幅器12では、穴付き凹面鏡17と凸面鏡16とによって共振

器が構成されており、その共振器の間にレーザチャンバ 18 が配置されている。

【0060】

レーザ光 L10 は、穴付き凹面鏡 17 から内部に入り、レーザチャンバ 18 内を進む際に増幅され、凸面鏡 16 の周囲からレーザ光 L20 が取り出される。

【0061】

レーザ光 L20 では、スペクトルがレーザ光 L10 と同等であることから、波長幅が約 0.3 pm のままになっているが、レーザ出力は 10 mJ 以上に増幅されている。このレーザ光 L20 は露光で利用するのに十分なパワー（レーザ出力）になっている。

【0062】

以上説明したように、超狭帯域化フッ素レーザ装置 100 では、ガス圧を通常より大きく低下させたフッ素レーザの発振器 11 を用いることにより、波長幅を約 0.3 pm 程度まで狭帯域化するようにし、また従来と同等のレーザ出力を保つために、発振器 11 と増幅器 12 との 2 段構成になっている。

【0063】

なお、上記実施形態において、発振器 11 のレーザチャンバ 15 内に、キセノン (Xe) などのガスを添加しても良い。これにより予備電離が強まるため、発振器 11 からのレーザ出力が多少向上することもある。

【0064】

以上説明したように、本実施形態によれば、超狭帯域化フッ素レーザ装置 100 では、エタロン等の狭帯域化素子を用いることなく、波長幅を 0.3 pm 以下まで狭帯域化されたレーザ光を発生することができる。

【0065】

また、レーザガスのトータル圧力を低下させた状態で狭帯域化するようにしているので、狭帯域化された発振線は、元のスペクトル分布のほぼ中心になる。すなわち、狭帯域化素子の温度上昇に伴う、狭帯域化された発振線の中心波長の変動は発生しないため、波長を安定化させるための安定化手段を講ずる必要がないこととなり、よってレーザ装置の簡素化を図ることができる。

【0066】

また、フッ素レーザー装置を2台用いることにより、発振増幅器、あるいは、発振器をシードレーザーとした注入同期を構成することができる。これにより1台目のフッ素レーザー装置によって、波長幅が約0.3 pmに狭帯域化され、レーザー出力が小さいレーザー光が出力された場合であっても、そのレーザー出力を2台目のフッ素レーザー装置によって増幅することができる。

【0067】

さらに、1台目の発振器（又はシードレーザー）のレーザーチャンバ内のレーザーガスのトータル圧力を1気圧以下にすることにより、レーザーチャンバからのフッ素ガス（これは人体に有害なガス）の漏れを防止することができ、安全性を向上させることができる。

【0068】

〔第2の実施の形態〕

図4は、第2の実施形態に係る超狭帯域化フッ素レーザー装置200の構成を示す構成図である。

【0069】

この第2の実施形態においても、上記第1の実施形態と同様に、フッ素レーザーにおけるレーザーガスのトータル圧力（以下、ガス圧という）を1気圧以下にしてレーザー動作させ、しかも波長幅が約0.3 pmまで狭帯域化されたレーザー光を発生させるようにしている。

【0070】

しかし、この実施形態では、横励起方式を採用している第1の実施形態とは異なり、詳細については後述する縦励起方式を採用している。この縦励起方式を採用することによって、ガス圧を低下させた場合に、レーザーチャンバ内の陰極と陽極との電極間に印加すべく放電電圧を低下させること無く、これらの電極間隔を長く設定するようにして、これらの電極間で発生するアーク放電を抑制するようにしている。

【0071】

さて、図4に示すように、超狭帯域化フッ素レーザー装置200では、出力鏡2

1と全反射鏡22とで構成された共振器中にレーザチャンバ23が配置された安定型共振器になっており、レーザ装置の構成としては、図1に示した超狭帯域化フッ素レーザ装置100の発振器11と同様になっている。

【0072】

しかし、レーザチャンバ23内では、電極の対である陰極24と陽極25とが、レーザ光L30と平行な方向、すなわち、レーザ光L30の光軸方向に並んでいる縦励起方式になっている。符号201で示される斜線部分が放電領域になっている。そして、レーザガスは斜線部分を図4の紙面に垂直な方向に流れるようになっている、そのためファン26が備えられている。

【0073】

このように超狭帯域化フッ素レーザ装置200では、縦励起方式となっているため、陰極24と陽極25との電極間隔が、通常の横励起方式に比べて、桁違いに長くなっている。例えば、通常の横励起方式では、電極間隔は10～20mmであるのに対し、本実施形態の縦励起方式においては、電極間隔を1000mm程度まで延長させることができ、よって電極間隔を従来と比較して50～100倍長くすることができる。

【0074】

従って、レーザチャンバ23内に満たされるレーザガスの圧力が非常に低い場合でも、アーク放電が発生し難く、グロー放電が維持される。このため、出力鏡21からは、波長が157.6299nmで、発振線の波長幅が約0.3pmに狭帯域化されたレーザ光L30が出射される。

【0075】

なお、上述したように横励起方式においては、電極間隔はレーザ光のビーム高さと同等で短いため（例えば10～20mm程度）、ガス圧を1気圧に低下させた場合には、上記電極間隔においてアーク放電が発生しないように、放電電圧を低く（例えば10KV）しなければならず、その結果、レーザ出力が低く（例えば1mJ）になっていた。

【0076】

これに対して、縦励起方式では、電極間隔を長く（例えば1000mm程度）

設定することができることから、アーク放電が発生し難くなる。すなわち、高い放電電圧（例えば20KV）で放電できることから、例えば、ガス圧が1気圧の場合、図3中符号32で示される点線の特性的ように、放電電圧を増加してもアーク放電に移行することなくグロー放電が維持され、よってレーザ出力を増加できる。

【0077】

なお、超狭帯域化フッ素レーザ装置200を、図1に示した超狭帯域化フッ素レーザ装置100の発振器11の代替として用いても良い。この場合、発振器11からのレーザ光のレーザ出力を高くすることができるため、増幅器12での増幅特性も良くなる。

【0078】

要するに、図1に示した超狭帯域化フッ素レーザ装置100の発振器11については、横励起方式、又は縦励起方式のいずれの方式を採用しても良いということである。

【0079】

以上説明したように、第2の実施形態によれば、第1の実施形態の作用効果と同様に、超狭帯域化フッ素レーザ装置200は、エタロン等の狭帯域化素子を用いることなく、波長幅を0.3 μ m以下まで狭帯域化されたレーザ光を発生することができる。

【0080】

また、レーザガスのトータル圧力を低下させた状態で、狭帯域化するようにしているので、狭帯域化素子の温度上昇に伴う、狭帯域化された発振線の中心波長の変動は発生せず、元のスペクトル分布のほぼ中心になるため、波長を安定化させるための安定化手段を講ずる必要がないこととなり、よってレーザ装置の簡素化を図ることができる。

【0081】

さらに、第2の実施形態では、発振するレーザ光の光軸方向と同一方向に放電させる縦放電（縦励起方式）にすることで、電極間隔を、ガス圧を十分低くしても、アーク放電が発生させないような長さに設定する（放電長を長くする）こと

ができることとなり、よってグロー放電を維持して、レーザ発振することができる。

【0082】

[第3の実施の形態]

図5は、超狭帯域化フッ素レーザ装置を用いたフッ素露光機300の構成を示す構成図である。

【0083】

このフッ素露光機300は、大別して、図1に示した超狭帯域化フッ素レーザ装置100と、露光機本体110とから構成されている。

【0084】

露光機本体110は、クリーンルーム内のグレーチング41上に配置されており、超狭帯域化フッ素レーザ装置100は、グレーチング41の下フロアー（一般に床下と呼ばれるフロアー）の床42の上に配置されている。

【0085】

超狭帯域化フッ素レーザ装置100から取り出された波長幅が約0.3 μ mの強いライン（発振線）のみのレーザ光L20は、ミラー43aに反射して上方に進み、グレーチング41における開口部44を通過して、露光機本体110内に進む。

【0086】

レーザ光L20は、レンズ45で絞られ、さらにフッ化カルシウムから成るガラスロッド46内を進み、この内部で全反射を繰り返すことで、ビーム強度分布が均一化されたレーザ光L21として出射される。

【0087】

このレーザ光L21は、ミラー43bに反射して、ビーム整形器47を通るこによりビーム断面が拡げられ、さらにミラー43cに反射してコンデンサレンズ48を通過してレチクル49を照射する。

【0088】

レチクル49を出射したレーザ光L22は、縮小投影レンズ50を通り、ウエハー51に当たる。すなわち、レチクル49内のパターンが、縮小投影レンズ5

0によって、ウエハー51上に転写されることで、レチクル49でのパターン状に露光される。なお、ウエハー51はステージ52に搭載されている。

【0089】

この第3の実施形態のフッ素露光機300では、縮小投影光学系として、縮小投影レンズ50が用いられており、この縮小投影レンズ50はフッ化カルシウムから成る単色レンズで構成されている。

【0090】

上述したようにレンズのみの縮小投影光学系の利用が可能になったのは、超狭帯域化フッ素レーザ装置100から取り出されるレーザ光L20の波長幅が約0.3pmと、従来のフッ素レーザの数分の一と狭いため、縮小投影レンズ50における色収差が無視できるからである。

【0091】

従って露光機本体110の構成としては、従来のKrF露光機のものと同等になる。大きな違いとしては、レンズの材質が石英からフッ化カルシウムに変更されただけであることから、縮小投影レンズの設計としては、従来のものと同様になり、設計に掛かるコストを大幅に低減することができる。

【0092】

以上説明したように、第3の実施形態によれば、フッ素露光機においては、フッ素レーザ装置（超狭帯域化フッ素レーザ装置）の価格が大幅に上昇したり、レーザの効率が大きく悪化することなく、全屈折型縮小投影光学系を利用することができる。

【0093】

すなわち縮小投影光学系として、従来のKrF露光機のものと同様な設計にすることができる。つまり、シミュレーションツールとしては従来と同様のものを用いることができることとなり、短期間で縮小投影光学系を設計でき、しかも人件費も大幅に削減することができるので、短期間で安価に製品化されたフッ素露光機を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は第 1 の実施の形態に係る超狭帯域化フッ素レーザ装置の構成を示す構成図である。

【図 2】

図 2 は波長幅のガス圧依存性を示すグラフである。

【図 3】

図 3 はレーザ出力の電圧依存特性を示すグラフである。

【図 4】

図 4 は第 2 の実施の形態に係る超狭帯域化フッ素レーザ装置の構成を示す構成図である。

【図 5】

図 5 は第 3 の実施の形態に係るフッ素露光機の構成を示す構成図である。

【符号の説明】

- 11 発振器
- 12 増幅器
- 15、23 レーザチャンバ
- 24 陰極
- 25 陽極
- 100、200 超狭帯域化フッ素レーザ装置
- 110 露光機本体
- 300 フッ素露光機
- L10、L20、L21、L22、L23 レーザ光

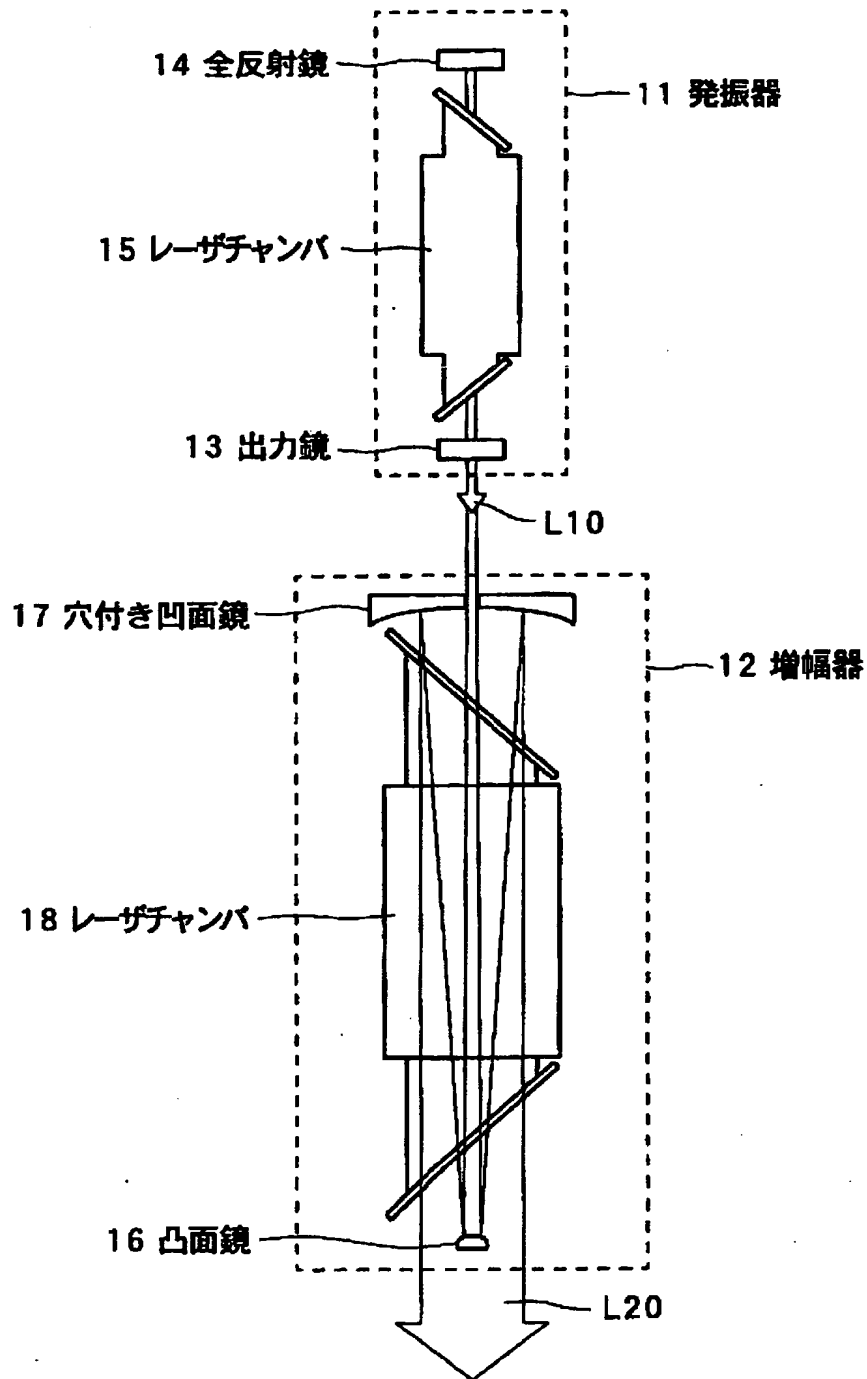
【書類名】

図面

【図 1】

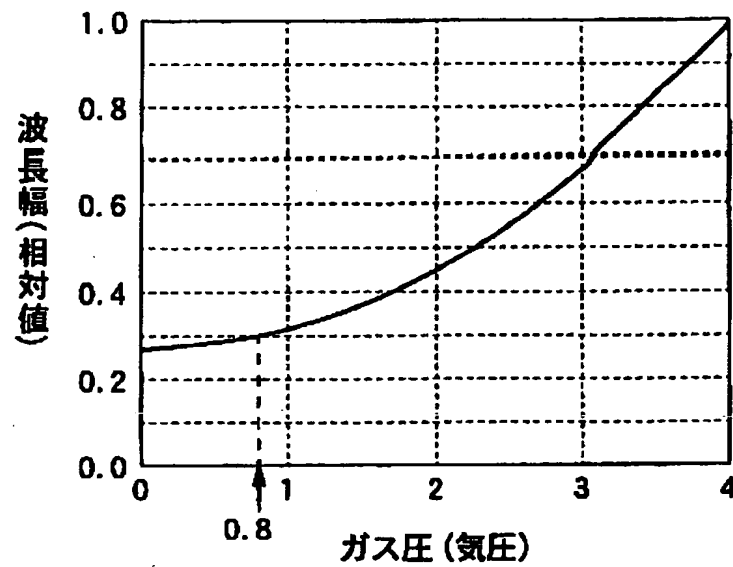
第 1 の実施形態の構成を示す構成図

100 超狭帯域化フッ素レーザ装置



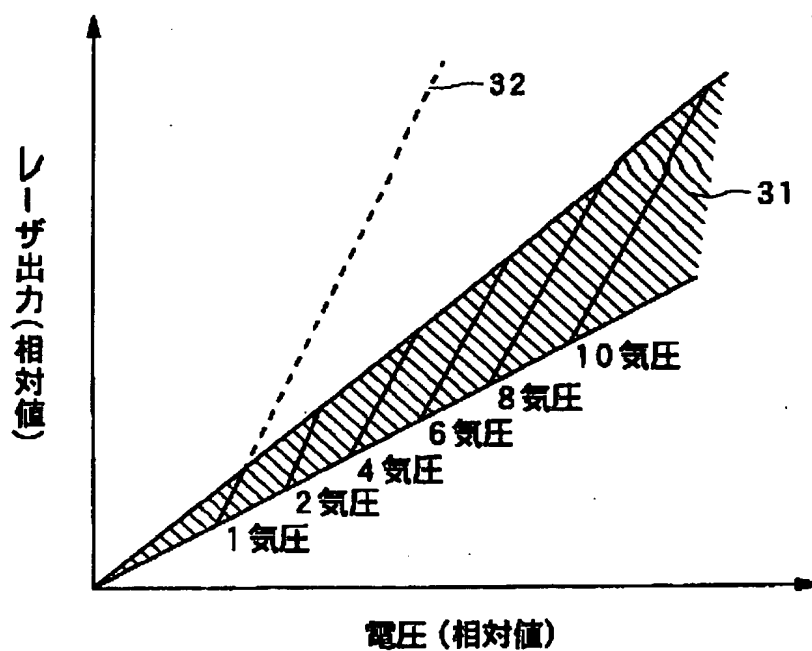
【図 2】

波長幅とガス圧依存性を示すグラフ



【図 3】

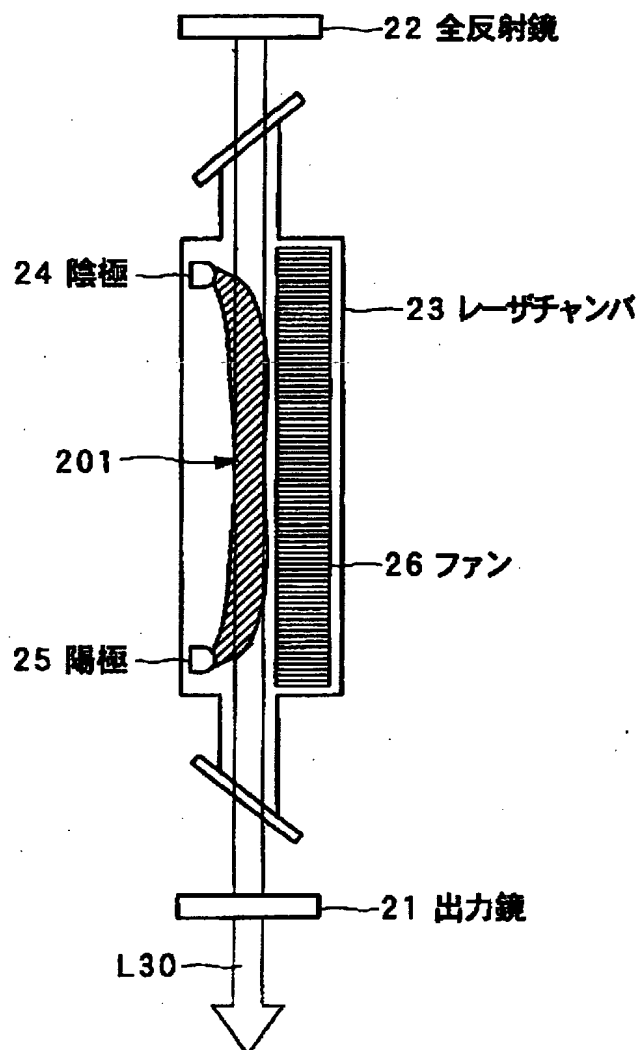
レーザ出力の電圧依存性を示すグラフ



【図 4】

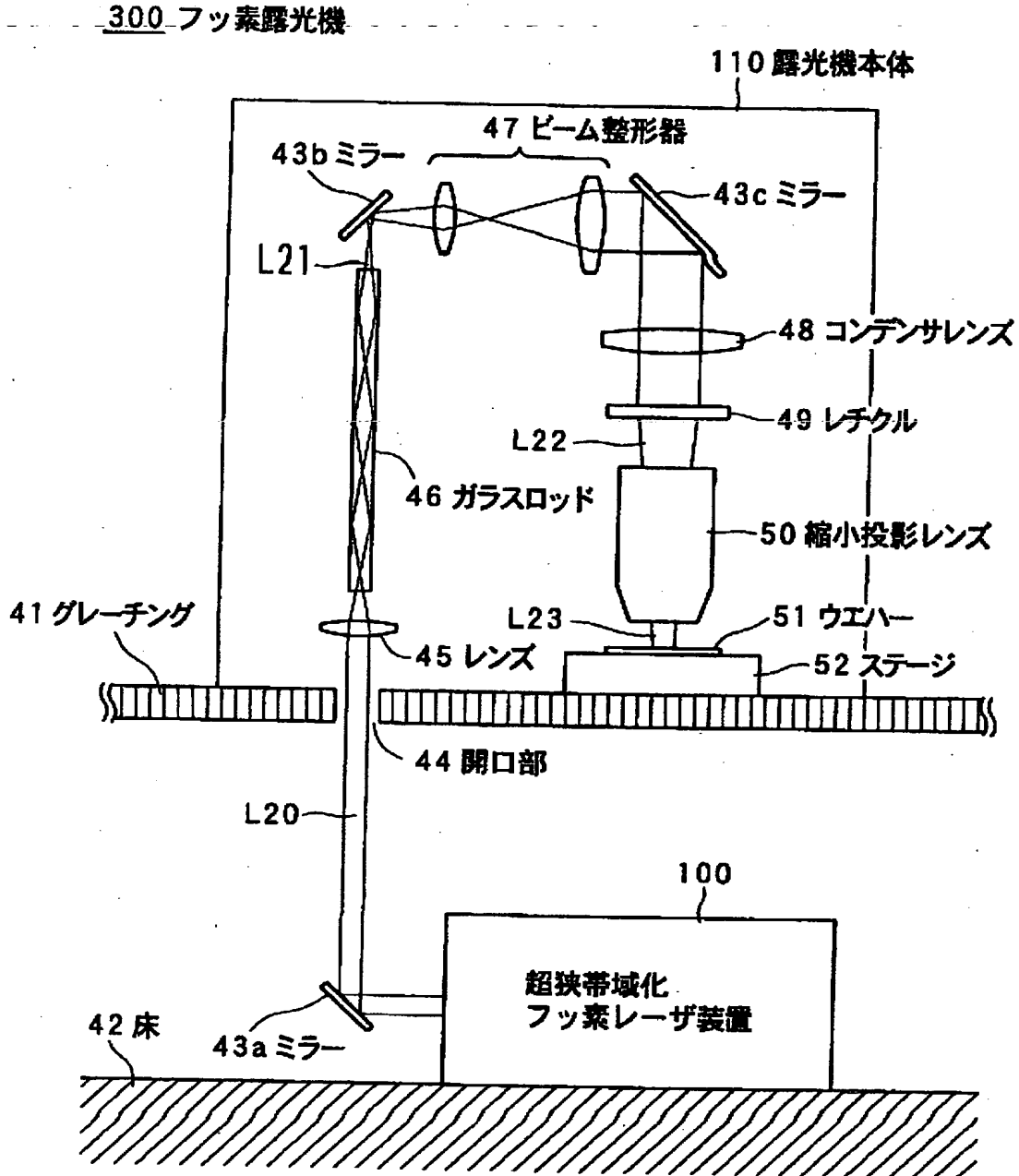
第 2 の実施形態の構成を示す構成図

200 超狭帯域化フッ素レーザー装置



【図 5】

第 3 の実施形態の構成を示す構成図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 フッ素レーザーにおけるライン幅を、エタロン等の狭帯域化素子を用いることなく、 $0.2 \sim 0.3 \text{ pm}$ 程度まで狭帯域化することのできる超狭帯域化フッ素レーザー装置を提供する。

【解決手段】 発振器 11 では、出力鏡 13 と全反射鏡 14 とで構成された安定型の共振器の間に、レーザーチャンバ 15 が配置されている。レーザーチャンバ 15 内では、レーザーガスが約 0.8 気圧に満たされている。その結果、レーザーチャンバ 15 で放電させてレーザー発振すると、波長幅が約 0.3 pm のレーザー光 L10 が取り出される。増幅器 12 によって、レーザー光 L10 のパワーを増加させている。増幅器 12 からは、波長幅が約 0.3 pm で、レーザー出力が 10 mJ 以上のレーザー光 L20 が出射される。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成 11 年 特許願 第 190490 号
受付番号	59900642995
書類名	特許願
担当官	檜戸 秀樹 6895
作成日	平成 11 年 7 月 12 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000001236
【住所又は居所】	東京都港区赤坂二丁目 3 番 6 号
【氏名又は名称】	株式会社小松製作所

【代理人】

申請人

【識別番号】	100071054
【住所又は居所】	東京都中央区湊 1 丁目 8 番 11 号 千代ビル 6 階 木村内外国特許事務所

【氏名又は名称】	木村 高久
----------	-------

【代理人】

【識別番号】	100106068
【住所又は居所】	東京都中央区湊 1 丁目 8 番 11 号 千代ビル 6 階 木村内外国特許事務所

【氏名又は名称】	小幡 義之
----------	-------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001236]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区赤坂二丁目3番6号
氏 名	株式会社小松製作所